



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

21 Aktenzeichen: 197 56 966.8
22 Anmeldetag: 20. 12. 97
43 Offenlegungstag: 24. 6. 99

DE 197 56 966 A 1

71 Anmelder:
ZF Friedrichshafen AG, 88046 Friedrichshafen, DE

72 Erfinder:
Schulz, Horst, 88045 Friedrichshafen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

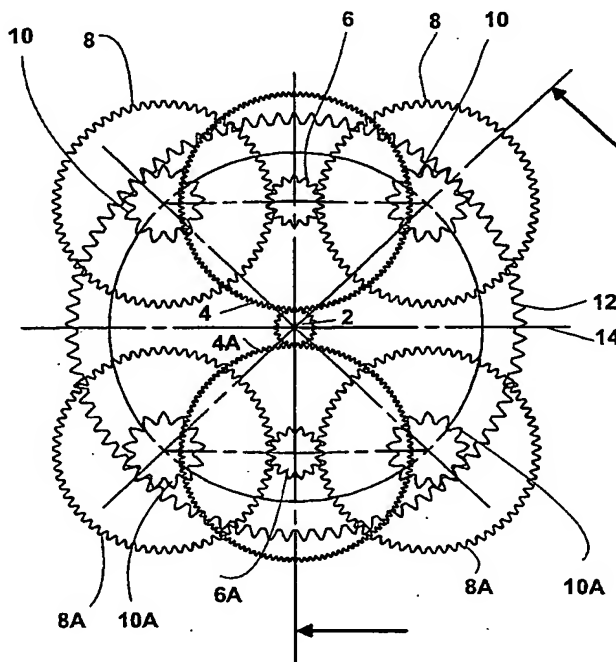
DE 196 03 004 A1
DE 42 34 873 A1
GB 10 57 033
US 36 86 978

KLEIN, Bernd: Das Wolfstromgetriebe - eine Planetengetriebebauform für hohe Übersetzungen. In: Feinwerktechnik & Messtechnik 89, 1981, 4, S.177-184;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Planetengetriebe

57 Die Erfindung betrifft ein Planetengetriebe mit einem auf einer Zentralwelle (18) angeordneten Sonnenrad (2), mindestens einem Hohlrads (12), einem Planetenträger (22) mit einer darin gelagerten Gruppe von Stufenplaneten mit großen und kleinen Stufenrädern (4, 6; 4A, 6A), deren große Stufenräder (4, 4A) mit dem Sonnenrad (2) in Eingriff stehen und wobei das Sonnenrad (2) radial fliegend in den Zahneingriffen mit den großen Stufenrädern (4, 4A) gelagert ist. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, die Zähnezahlen (N1, N2) der großen (4, 4A) und kleinen (6, 6A) Stufenräder der Stufenplaneten so zu wählen, daß die Zähnezahl der großen Stufenräder (4, 4A) nicht ganzzahlig durch die Zähnezahl der kleinen Stufenräder (6, 6A) teilbar ist. Hierdurch wird eine radiale Einstellbarkeit des Sonnenrads allein durch verschiedene Drehstellungen bei der Montage der Stufenplaneten (4, 6) erzielt. Vorteilhaft ist, daß auf Mittel zur Einstellung der relativen Drehstellung der Stufenräder (4, 6) eines Stufenplaneten oder auf eine winkelstellungsgenaue Fertigung verzichtet werden kann.



DE 197 56 966 A 1

Die Erfindung betrifft ein Planetengetriebe mit einem auf einer Zentralwelle angeordneten Sonnenrad, mindestens einem Hohlrad, einem Planetenträger mit einer darin gelagerten Gruppe von Stufenplaneten mit großen und kleinen Stufenrädern, deren große Stufenräder mit dem Sonnenrad in Eingriff stehen, und wobei das Sonnenrad radial fliegend in den Zahneingriffen mit den großen Stufenrädern gelagert ist, sowie ein Verfahren zur Einstellung und Montage des Planetengetriebes.

Derartige Getriebe werden vorzugsweise in der Handhabungstechnik verwendet. Die radial fliegende Lagerung des Sonnenrads bewirkt eine sehr gleichmäßige Lastaufteilung auf die Leistungswege der verschiedenen Stufenplaneten. Teilungsfehler in den Zahnrädern eines der Leistungszweige, die auch mit hohem Fertigungsaufwand nicht völlig vermeidbar sind, führen zu einer kurzzeitigen geringfügigen Ausweichbewegung des Sonnenrads und wirken sich am Abtrieb kaum aus, so daß eine sehr hohe Übertragungstreue erzielt wird. Winkelstellungsfehler in einem Leistungszweig führen jedoch zu einer unerwünschten dauerhaften Außer-mittigkeit des Sonnenrads, was eine Verkipfung der zentralen Antriebswelle zur Folge hat.

In der DE 196 03 004 A1 der Anmelderin ist ein gattungsgemäßes Planetengetriebe offenbart, bei dem die Drehstellung der Stufenräder eines Stufenplaneten über eine verdrehbar montierbare Flanschverbindung einstellbar gestaltet ist. Diese Ausgestaltung ermöglicht zwar eine exakte Mitteneinstellung des Sonnenrads, bedingt jedoch eine hohe Teilezahl und einen relativ hohen Montageaufwand.

In der nicht vorveröffentlichten älteren Anmeldung DE 197 20 255 der Anmelderin ist ein Planetengetriebe offenbart, bei dem die relative Drehstellung von zwei im Betrieb drehfest miteinander verbundenen Stufenrädern eines Stufenplaneten einstellbar ausgebildet ist. Ein vorgeschlagenes Verfahren ist, die Dreheinstellbarkeit durch eine einmalig justierbare Wellen-Nabenverbindung wie Kleben oder thermisches Aufschrupfen herzustellen. Es birgt jedoch den Nachteil, daß eine Nachjustage unmöglich ist.

In der DE 29 41 553 A1 ist ein leistungsverzweigtes Getriebe offenbart, bei dem die Winkellage in einem Leistungszweig durch eine Verbindungsbüchse mit zwei Verzahnungen unterschiedlicher Zähnezahle einstellbar ist, wobei die Differenz der Zähnezahlen vorzugsweise klein ist und insbesondere eins ist. Bei der Montage der Verbindungsbüchse ist eine feine Winkleinstellbarkeit gegeben. Die Verbindungsbüchse stellt jedoch ein weiteres Glied im Drehmomentenfluß dar, welches sich auf die Teilezahl, die Zahl der Verbindungsstellen und das Drehspiel negativ auswirkt.

Aufgabe der Erfindung ist, ein Planetengetriebe der eingangs genannten Art so auszubilden, daß die Mitteneinstellung des Sonnenrads auf einfache Art und Weise, kostengünstig und mit einer geringen Teilezahl, wiederholbar ermöglicht ist.

Die Aufgabe wird durch ein Planetengetriebe mit den Merkmalen des Hauptanspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind durch die abhängigen Ansprüche gegeben. Die Verfahrensansprüche beziehen sich auf vorteilhafte Einstell- und Montageverfahren für ein erfindungsgemäßes Planetengetriebe.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, daß die Zähnezahle der großen Stufenräder nicht ganzzahlig durch die Zähnezahle der kleinen Stufenräder teilbar ist, um eine radiale Einstellbarkeit des Sonnenrads allein durch verschiedene Drehstellungen bei der Montage der Stufenplaneten (4, 6) zu erzielen. Wie im weiteren näher ausgeführt, läßt es sich zei-

gen, daß verschiedene Drehstellungen bei der Montage der Stufenplaneten eine Winkelaufösung zwischen den beiden Stufenrädern eines Stufenplaneten von

$$\Delta\alpha = \frac{360^\circ}{N1 \times N2} \times \text{GGT}(N1, N2)$$

ergeben, wobei N1 und N2 die Zähnezahlen der Stufenräder der Stufenplaneten sind und GGT (N1, N2) der größte gemeinsame Teiler der Zähnezahlen N1 und N2 ist. Vorteilhaft ist, daß die Stufenplaneten einteilig gefertigt werden können, ohne auf eine Stellungsordnung der beiden Stufenräder achten zu müssen, und daß die Einstellbarkeit auch zu jedem späteren Zeitpunkt möglich ist. Es sind keine Mittel zur Einstellung der relativen Drehstellung der Stufenräder eines Stufenplaneten notwendig.

Die feinste Winkelaufösung ist erzielbar, wenn der größte gemeinsame Teiler der Zähnezahlen der großen und kleinen Stufenräder der Stufenplaneten, die in gleichzeitigem Zahneingriff mit dem Sonnenrad sind, gleich eins ist.

Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die Zentralwelle in axialem Abstand vom Sonnenrad durch ein in begrenztem Maß winkelbewegliches Lager gelagert ist, um eine radiale Ausweichbewegung des Sonnenrads auf einfache Art und Weise zu ermöglichen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Stufenplanetenachsen parallel zur Zentralwelle angeordnet, die axiale Position der Stufenplaneten individuell einstellbar, das Sonnenrad und die großen Stufenräder der Stufenplaneten zylindrisch ausgebildet, und die kleinen Stufenräder der Stufenplaneten konisch ausgebildet. Hierdurch läßt sich das Verzahnungsspiel an dem kleinen Stufenrad jedes Stufenplaneten individuell auf einen minimalen Wert einstellen, so daß insgesamt eine praktisch spiel freie Übertragung erzielt wird. Aufgrund der parallelen Wellenanordnung und der zylindrischen Verzahnungen von Sonnenrad und großen Stufenrädern der Stufenplaneten wirkt sich eine axiale Verschiebung nicht auf die Eingriffsverhältnisse zwischen Sonnenrad und den großen Stufenrädern aus.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die großen und kleinen Stufenräder der Stufenplaneten schrägverzahnt ausgebildet und weisen unterschiedliche Steigungshöhen der Schraubenlinien ihrer Zahnflanken auf. Eine axiale Verschiebung des Stufenplaneten führt zu einer gewünschten Relativverdrehung im Leistungszweig dieses Stufenplaneten. Diese Relativverdrehung kann dazu genutzt werden, um die Mitteneinstellung des Sonnenrads fein einzustellen, wenn die durch die Zähnezahlen bestimmte, endliche Winkelaufösung nicht ausreichend ist. Es hat sich gezeigt, daß bei genügend großen Zähnezahlen der großen und kleinen Stufenräder die durch die Winkelaufösung bedingte Abweichung von der optimalen Spielfrei-Einstellung vernachlässigbar klein und ohne merkliche Auswirkung auf das gesamte Getriebeispiel ist.

Im Gegensatz dazu hat eine Ausgestaltung der Erfindung, bei der die großen und kleinen Stufenräder der Stufenplaneten gleiche Steigungshöhen der Schraubenlinien der Zahnflanken aufweisen, den Vorteil, daß eine axiale Verschiebung des Stufenplaneten ohne Auswirkung auf die Stellung des Sonnenrads bleibt. Dies gilt natürlich auch für den Spezialfall, wenn die die Stufenräder geradzahnt sind.

Schließlich sind bei einer vorteilhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Planetengetriebes zwei Gruppen von Stufenplaneten vorgesehen, wobei alle Stufenplaneten in dem gemeinsamen Planetenträger gelagert sind. Die Anzahl der Stufenplaneten einer zweiten Gruppe entspricht der halben Anzahl der Stufenplaneten einer ersten Gruppe. Alle

großen Stufenräder der Stufenplaneten der zweiten Gruppe stehen mit dem Sonnenrad in Eingriff und die kleinen Stufenräder der Stufenplaneten der zweiten Gruppe stehen gleichzeitig mit einem Paar von benachbarten großen Stufenrädern der Stufenplaneten der ersten Gruppe in Eingriff. Alle kleinen Stufenräder der Stufenplaneten der ersten Gruppe stehen mit dem Hohlrad in Eingriff. Diese Ausführungsform zeichnet sich durch eine hohe Übersetzung, eine kompakte Bauform, einen hohen Wirkungsgrad und insbesondere durch eine sehr hohe Übertragungstreue aus.

In einer weiteren Ausgestaltung dieser Ausführungsform ist vorgesehen, daß die Zähnezahzahl der großen Stufenräder der Stufenplaneten der ersten Gruppe nicht ganzzahlig durch die Zähnezahzahl der kleinen Stufenräder der Stufenplaneten der ersten Gruppe teilbar ist. Hierdurch ist auch der radiale Abstand zwischen den kleinen Stufenrädern der Stufenplaneten der zweiten Gruppe und der Getriebemittelachse einstellbar. Der radiale Abstand von der Getriebemittelachse läßt sich durch die Wahl einer bestimmten Drehstellungen bei der Montage der Stufenplaneten der ersten Gruppe einstellen, wenn die kleinen Stufenräder der Stufenplaneten der zweiten Gruppe radial fliegend in den Zahneingriffen mit den benachbarten großen Stufenrädern der Stufenplaneten der ersten Gruppe gelagert sind.

Entsprechend der radialen Einstellung des Sonnenrads, welches im aufgebauten Getriebe im Eingriff mit den großen Stufenrädern der zweiten Stufenplaneten ist, läßt sich auch hier die feinste Auflösung erzielen, wenn der größte gemeinsame Teiler der Zähnezahlen der großen und kleinen Stufenräder der Stufenplaneten der ersten Gruppe gleich eins ist.

Bei einem sehr einfach handhabbaren Einstell- und Montageverfahren wird zunächst ein Stufenplanet im Getriebe montiert, so daß eine erster Leistungszweig zwischen Antrieb (Sonnenrad) und Abtrieb (z. B. Hohlrad) geschlossen wird. In einem weiteren Schritt wird ein weiterer Stufenplanet zunächst in einer beliebigen Drehstellung montiert, wobei das große Stufenrad mit dem Sonnenrad in Eingriff gebracht wird. Dann wird der Betrag und die Richtung der Mittenabweichung des Sonnenrads gemessen. Der weitere Stufenplanet wird wieder demontiert, und um einen aus der Messung vorherbestimmten, einer Zähnezahzahl des kleinen Stufenrads entsprechenden Winkel verdreht wiedermontiert.

Bei einem Planetengetriebe mit parallel zur Zentralwelle angeordneten Stufenplanetenachsen, bei dem die axiale Position der Stufenplaneten individuell einstellbar ist, und die kleinen Stufenräder der Stufenplaneten konisch ausgebildet sind, wird eine optimale Einstellung des Getriebespiels und der Mittenstellung des Sonnenrads erzielt, wenn bei der ersten Montage jedes Stufenplaneten dessen axiale Position individuell so eingestellt wird, daß die Zahneingriffe an den kleinen, konischen Stufenrädern spiel frei sind.

Wenn die großen und kleinen Stufenräder der Stufenplaneten schrägverzahnt sind und unterschiedliche Steigungshöhen der Schraubenlinien der Zahnflanken aufweisen, ist auch noch ein etwa verbleibender Rest der Mittenabweichung des Sonnenrads beseitigbar.

Schließlich wird noch ein vorteilhaftes Einstell- und Montageverfahren für eine Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Getriebes vorgeschlagen, bei der die Zähnezahzahl der großen Stufenräder der Stufenplaneten der ersten Gruppe nicht ganzzahlig durch die Zähnezahzahl der kleinen Stufenräder der Stufenplaneten der ersten Gruppe teilbar ist. Zur Einstellung des radialen Abstands zwischen den kleinen Stufenrädern der Stufenplaneten der zweiten Gruppe und der Getriebemittelachse wird bei der Montage der Stufenplaneten der ersten Gruppe eine bestimmte Drehstellung gewählt. Auch hierbei ist es vorteilhaft, das kleine Stufenrad

eines Stufenplaneten der zweiten Gruppe zunächst mit den benachbarten großen Stufenrädern der Stufenplaneten der ersten Gruppe in Eingriff zu bringen, wobei die kleinen Stufenräder der Stufenplaneten der ersten Gruppe mit dem Hohlrad in Eingriff sind. Sodann wird die Abweichung des radialen Abstands des kleinen Stufenrads der Stufenplaneten der zweiten Gruppe von der Getriebemittelachse gemessen. Einer der Stufenplaneten der ersten Gruppe wird demontiert und um einen aus der Messung vorherbestimmten, einer Zähnezahzahl des kleinen Stufenrads entsprechenden Winkel verdreht wiedermontiert, so daß die Abweichung des radialen Abstands von einem vorgegebenen Maß minimal ist.

Anhand der beiliegenden Zeichnungen wird die Erfindung näher erläutert, wobei

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung der Räderanordnung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Planetengetriebes,

Fig. 2 eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Planetengetriebes und

Fig. 3 ein Einstellschema zur Verwendung in einem erfindungsgemäßen Montage- und Einstellverfahren zeigen.

Die bezüglich der horizontalen und vertikalen Mittellinien symmetrische Prinzipdarstellung gemäß Fig. 1 zeigt das zentrale Sonnenrad 2, welches in einer Axialebene zwischen zwei großen Stufenrädern 4, 4A einer zweiten Gruppe von Stufenplaneten radial fliegend gelagert ist. Das Sonnenrad verteilt die Antriebsleistung auf die beiden Stufenräder 4, 4A, die jeweils Teil eines Leistungszweiges sind. In einer anderen Ebene stehen die kleinen Stufenräder 6, 6A dieser Stufenplaneten gleichzeitig mit einem Paar von benachbarten großen Stufenrädern 8, 8A einer ersten Gruppe von Stufenplaneten in Eingriff. In einer dritten Ebene stehen alle kleinen Stufenräder 10, 10A dieser Stufenplaneten mit dem Hohlrad 12 in Eingriff. Ein derartiges Getriebe ist bereits in der nicht vorveröffentlichten DE 197 20 255 der Anmeldung offenbart. Um Wiederholungen an dieser Stelle zu vermeiden, wird erklärt, daß der Inhalt dieser älteren Anmeldung zum Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung gehören soll.

Das Sonnenrad 2 ist entlang der in Fig. 1 horizontal verlaufenden Linie 14 beweglich, wodurch eine sehr gleichmäßige Lastaufteilung auf die beiden Stufenräder 4, 4A erzielt wird.

Die Zentralwelle 18 ist durch das Lager 16 (Fig. 2) in axialem Abstand vom Sonnenrad 2 gelagert. Das Lager 16 ist in begrenztem Maße winkelbeweglich ausgebildet.

Um eine ständige Exzentrizität des Sonnenrads 2 zu vermeiden, welche eine unerwünschte Schiefstellung der Zentralwelle 18 zur Folge hätte, ist bei bekannten Lösungen die relative Drehstellung der beiden Stufenräder 4, 6 eines Stufenplaneten einstellbar ausgeführt, was mit den genannten Nachteilen verbunden ist. Wenn nun – wie erfindungsgemäß vorgeschlagen – die Zähnezahlen N2, N1 der großen und kleinen Stufenräder 4, 4A, 6, 6A so gewählt werden, daß die Zähnezahzahl der großen Stufenräder (4, 4A) nicht ganzzahlig durch die Zähnezahzahl der kleinen Stufenräder (6, 6A) teilbar ist, läßt sich allein durch verschiedene Drehstellungen bei der Montage eine Winkelauflösung von

$$\Delta\alpha = \frac{360^\circ}{N1 \times N2} \times \text{GGT}(N1, N2)$$

erzielen. In der Ausführungsform gemäß Fig. 1 weisen die kleinen Stufenräder 6, 6A die Zähnezahzahl N1 = 14 und die großen Stufenräder die Zähnezahzahl N2 = 125 auf. Der größte gemeinsame Teiler der Zähnezahlen ist 1, so daß die feinste

Winkelaufösung erzielt wird. Sie ist in diesem Beispiel

$$\Delta\alpha = \frac{360^\circ}{14 \times 125} \times 1 \approx 0,206^\circ.$$

Eine Verdrehung des Stufenplaneten 4, 6 um einen Zahn-
teilungsschritt des kleinen Stufenrads 6 entspricht 125/14
Zahn-
teilungsschritten des großen Stufenrads 4. Dieser Wert
läßt sich darstellen als $(9 - 1/14)$ Zahn-
teilungsschritte. Aus-
gehend von jeweils einem ersten Zahn des großen und klei-
nen Stufenrads ist die Winkelstellung des 9. Zahns des gro-
ßen Stufenrads 4 zum 2. Zahn des kleinen Stufenrads 6 um
den vierzehnten Teil eines Zahn-
teilungsschritts des großen
Stufenrads 4 gegenüber der Winkelstellung des ersten Zahns
des großen Stufenrads 4 zum ersten Zahn des kleinen Stu-
fenrads 6 verschieden. Dieser Unterschied entspricht der
Winkelaufösung $\Delta\alpha$.

Um die kleinste Änderung der relativen Zahnstellungen
bei der Zähnezahlkombination gemäß Fig. 1 zu erhalten, ist
das kleine Stufenrad 6 jeweils um einen Zahn-
teilungsschritt zu verdrehen. Bei anderen Zähnezahlkombinationen ist das
kleine Stufenrad hierzu um mehr als einen Zahn-
teilungsschritt zu verdrehen, beispielsweise um 3 Zahn-
teilungsschritte bei $N_1 = 17$ und $N_2 = 125$.

Fig. 2 zeigt eine Schnittdarstellung einer Ausführungs-
form eines erfindungsgemäßen Getriebes. Der Schnittver-
lauf ist in Fig. 1 durch Pfeile gekennzeichnet. Die Stufenpla-
netenachsen der Stufenplaneten 4, 6; 4A, 6A der zweiten
Gruppe verlaufen parallel zur Zentralwelle 18. Die kleinen
Stufenräder 6, 6A dieser Stufenplaneten sind konisch ausge-
bildet und die axiale Position der Stufenplaneten 4, 6; 4A,
6A ist mittels Einstellscheiben 20 individuell einstellbar.
Hierdurch ist das Verzahnungsspiel zwischen den Stufenrä-
dern 6, 6A und den damit kämmenden großen Stufenrädern
8, 8A der Stufenplaneten der ersten Gruppe einstellbar. Auf-
grund der zylindrischen Ausbildung der Stufenräder 4, 4A
und des Sonnenrads 2 wirkt sich eine axiale Verschiebung
der Stufenplaneten der zweiten Gruppe nicht auf das Ver-
zahnungsspiel zwischen den Stufenrädern 4, 4A und dem
Sonnenrad 2 aus.

Bei einem vorteilhaften Montageverfahren wird zunächst
nur ein Stufenplanet 4A, 6A der zweiten Gruppe mit dem
Sonnenrad 2 in Eingriff gebracht, und alle am Drehmomen-
tenfluß dieses Leistungsarms (2, 4A, 6A, 8A, 10A, 12)
beteiligten Räder montiert. Vom zweiten Leistungsarm (2, 4,
6, 10, 12) werden zunächst die Stufenplaneten 8, 10 mit dem
Hohlrad in Eingriff gebracht. Zuletzt wird der weitere Stu-
fenplanet 4, 6 montiert. Bei der Montage der Stufenplaneten
kann deren axiale Position, bzw. das Verzahnungsspiel indi-
viduell eingestellt werden. Durch die Zahneingriffe mit den
großen Stufenrädern 8 der Stufenplaneten 8, 10 der ersten
Gruppe ist die Zahnstellung des kleinen Stufenrads 6 vorge-
geben. In der Regel werden die Zahnstellungen der Stufen-
räder 4, 4A bei der ersten Montage eine außermittige Posi-
tion des Sonnenrads 2 bedingen. Der Wert der Mittenabwei-
chung entspricht einem Winkel, um den die relativen Zahn-
stellungen der Stufenräder 4, 6 des weiteren Stufenplaneten
verändert werden müssen, um eine mittige Position zu erhal-
ten. Der weitere Stufenplanet 4, 6 wird demontiert und um
einen bestimmten Winkel verdreht wiedermontiert. Der Ver-
drehwinkel entspricht einer bestimmten Zähnezahlszahl des klei-
nen Stufenrads 6. In vorteilhafter Weise kann er beispiels-
weise abhängig von der zu messenden Mittenabweichung
tabelliert sein.

Wenn die großen und kleinen Stufenräder 4, 6 der Stufen-
planeten schrägverzahnt sind und unterschiedliche Stei-
gungshöhen der Schraubenlinien der Zahnflanken aufwei-

sen, kann das Einstell- und Montageverfahren vorteilhaft
dadurch erweitert werden, daß bei der Wiedermontage des
weiteren Stufenplaneten 4, 6 dessen axiale Position gegen-
über der zuvor ermittelten, optimalen Spielfrei-Einstellung
geringfügig verändert wird, um eine optimale Mitteneinstel-
lung des Sonnenrads herzustellen.

Die kleinen Stufenräder 6, 6A der Stufenplaneten der
zweiten Gruppe sind in den in Fig. 2 dargestellten Ausführ-
ungsform radial fliegend in den Zahneingriffen mit den be-
nachbarten großen Stufenrädern 8, 8A gelagert. Die Lager
20 sind in axialem Abstand von dieser Verzahnungsebene
angeordnet und sind im begrenzten Maß winkelbeweglich.
Hierdurch findet auch an diesen Verzahnungsstellen ein
selbsttätiger Lastausgleich statt. Bei Teilungsfehlern können
die Stufenräder 6, 6A – entsprechend dem Sonnenrad 2 –
eine radiale Ausweichbewegung ausführen.

Wenn auch die Zähnezahlen der großen 8, 8A und kleinen
10, 10A Stufenräder der Stufenplaneten der ersten Gruppe
so gewählt sind (nicht dargestellt), daß die Zähnezahlszahl
der großen Stufenräder 8, 8A nicht ganzzahlig durch die Zähne-
zahl der kleinen Stufenräder 10, 10A teilbar ist, ist auch der
radiale Abstand der kleinen Stufenräder 6 von der Getriebe-
mittelachse auf ein vorgegebenes Maß entsprechend ein-
stellbar. Dies ist insbesondere bei kleinen Getrieben vorteil-
haft.

Die für die Einstellung relevanten Verfahrensschritte bei
der Montage der Stufenplaneten in einem Getriebe gemäß
Fig. 1 bzw. Fig. 2 können beispielsweise wie folgt ablaufen:

Nach der Montage des Hohlrads 12 und des Planetenträ-
gers 22 werden zunächst die vier Stufenplaneten 8, 10; 8A,
10A, sowie das Sonnenrad 2 im Planetenträger montiert.
Dabei wird die axiale Position der Stufenplaneten individu-
ell so eingestellt, daß die Verzahnung zwischen jedem der
konischen kleinen Stufenräder 10, bzw. 10A und dem Hohl-
rad jeweils spielfrei ist.

In einem nächsten Schritt wird zunächst der Stufenplanet
4A, 6A mit den benachbarten großen Stufenrädern 8A und
dem Sonnenrad in Eingriff gebracht. Damit ist ein Lei-
stungsarm zwischen Sonnenrad 2 und Hohlrad 12 ge-
schlossen. Im vorliegenden Beispiel sind die Stufenräder 8,
10; 8A, 10A ausreichend stellungsgenau gefertigt, so daß es
nicht erforderlich ist, den radialen Abstand des Stufenrads 6
von der Getriebemittelachse einzustellen.

Dann wird der Stufenplanet 4, 6 eingesteckt und mit den
benachbarten großen Stufenrädern 8 in Eingriff gebracht.
Gleichzeit greifen auch die Zähne des Sonnenrads 2 in die
nächstliegenden freien Zahnücken des großen Stufenrads 4
ein. In der Regel werden die Zahnstellungen der beiden gro-
ßen Stufenräder 4, 4A bedingen, daß das Sonnenrad hierbei
radial aus der Mitte verschoben wird.

Die Richtung sowie der Betrag der Mittenabweichung des
Sonnenrads 2 wird gemessen, und der Stufenplanet 4, 6 wie-
der demontiert. Im nächsten Schritt muß bestimmt werden,
um wieviele Zahn-
teilungsschritte des kleinen Stufenrads 6
der Stufenplanet 4, 6 vor der Wiedermontage verdreht wer-
den muß, um die Mittenabweichung des Sonnenrads zu mi-
nimieren.

Hierzu kann eine Tabelle, wie in Fig. 3 beispielhaft darge-
stellt, benutzt werden. Sie ist für jeden Getriebetyp individu-
ell zu erstellen und beruht auf geometrischen Zusammen-
hängen. Die Zähnezahlen sind hier $N_1 = 17$ und $N_2 = 125$.
Die Winkelaufösung ist aus der angegebenen Formel be-
stimmbar, und im vorliegenden Fall näherungsweise $\Delta\alpha \approx$
 $0,1694^\circ$. Der Teilkreisdurchmesser des großen Stufenrads 4
ist $D_4 = 101,247$ mm. Der kleinste Schritt, um den sich das
Zentrum des Sonnenrads in radialer Richtung verschieben
läßt, ergibt sich durch Linearisierung zu:

$$\frac{\Lambda\alpha}{360^\circ} \times \frac{\pi \times D4}{2} \approx 0,075\text{mm}.$$

Abhängig vom zu messenden Wert dx der Außermit-
tigkeit des Sonnenrads 2 ist tabelliert, um wieviele Zahnteil-
lungsschritte $dN1$ des kleinen Stufenrads 6 der Stufenplanet
4, 6 vor der Wiedermontage zu verdrehen ist. Der Wert dx ist
dabei positiv, wenn das Sonnenrad 2 bezogen auf Fig. 3
rechts der vertikalen Mittellinie liegt. Für positive Werte
von dx ist dabei im Uhrzeigersinn zu drehen, für negative
Werte von dx gegen den Uhrzeigersinn. Zur Erstellung der
Tabelle sind lediglich die Zähnezahlen $N1$ und $N2$, sowie
der Teilkreisdurchmesser des großen Stufenrads 4 notwen-
dig.

Die Tabelle zeigt lediglich 8 der insgesamt 17 Einstell-
möglichkeiten. Wenn ein größerer Wert für dx gemessen
wird, so kann beim Einstecken des eine benachbarte Zahn-
lücke des großen Stufenrads 4 gefunden werden kann, für
die der Betrag von dx kleiner ist.

Bemerkenswert ist, daß in diesem Beispiel um jeweils
drei Zahnteilungsschritte verdreht werden muß, um die
kleinste Änderung der Stellung des Sonnenrads zu erzielen.

Bezugszeichenliste

- 2 Sonnenrad
- 4 großes Stufenrad (zweite Gruppe von Stufenplaneten)
- 4A großes Stufenrad (zweite Gruppe von Stufenplaneten)
- 6 kleines Stufenrad (zweite Gruppe von Stufenplaneten)
- 6A kleines Stufenrad (zweite Gruppe von Stufenplaneten)
- 8 großes Stufenrad (erste Gruppe von Stufenplaneten)
- 8A großes Stufenrad (erste Gruppe von Stufenplaneten)
- 10 kleines Stufenrad (erste Gruppe von Stufenplaneten)
- 10A kleines Stufenrad (erste Gruppe von Stufenplaneten)
- 12 Hohlrad
- 14 horizontale Linie
- 16 Lager
- 18 Zentralwelle
- 20 Einstellscheibe
- 22 Planetenträger
- N1 Zähnezahl der kleinen Stufenräder 6, 6A
- N2 Zähnezahl der großen Stufenräder 4, 4A
- $dN1$ Anzahl der Zahnteilungsschritte $dN1$ kleinen Stufen-
rads 6 um die der Stufenplanet 4, 6 vor der Wiedermontage
zu verdrehen ist
- dx zu messender Wert der Außermittegkeit des Sonnenrads 2

Patentansprüche

1. Planetengetriebe mit einem auf einer Zentralwelle
(18) angeordneten Sonnenrad (2), mindestens einem
Hohlrad (12), einem Planetenträger (22) mit einer darin
gelagerten Gruppe von Stufenplaneten mit großen und
kleinen Stufenrädern (4, 6; 4A, 6A), deren große Stu-
fenräder (4, 4A) mit dem Sonnenrad (2) in Eingriff ste-
hen, wobei das Sonnenrad (2) radial fliegend in den
Zahneingriffen mit den großen Stufenrädern (4, 4A)
gelagert ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Zähne-
zahl der großen Stufenräder (4, 4A) nicht ganzzahlig
durch die Zähnezahzahl der kleinen Stufenräder (6, 6A)
teilbar ist, um eine radiale Einstellbarkeit des Sonnen-
rads allein durch verschiedene Drehstellungen bei der
Montage der Stufenplaneten (4, 6) zu erzielen.
2. Planetengetriebe nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, daß der größte gemeinsame Teiler der
Zähnezahlen der großen und kleinen Stufenräder gleich
eins ist.

3. Planetengetriebe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, daß die Zentralwelle (18) in axialem
Abstand vom Sonnenrad (2) durch ein in begrenztem
Maß winkelbewegliches Lager (16) gelagert ist, um
eine radiale Ausweichbewegung des Sonnenrads (2) zu
ermöglichen.

4. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, daß die Stufenplanetenachsen
parallel zur Zentralwelle (18) sind, die axiale Position
der Stufenplaneten (4, 6; 4A, 6A) individuell einstell-
bar ist, das Sonnenrad (2) und die großen Stufenräder
(4, 4A) der Stufenplaneten zylindrisch ausgebildet sind
und die kleinen Stufenräder (6, 6A) der Stufenplaneten
konisch ausgebildet sind, um eine Spieleinstellbarkeit
zu ermöglichen.

5. Planetengetriebe nach Anspruch 4, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die großen und kleinen Stufenräder (4,
4A; 6, 6A) der Stufenplaneten schrägverzahnt sind und
unterschiedliche Steigungshöhen der Schraubenlinien
der Zahnflanken aufweisen, um eine Feineinstellbar-
keit der Mittenstellung des Sonnenrads (2) zu ermögli-
chen.

6. Planetengetriebe nach Anspruch 4, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die großen und kleinen Stufenräder (4,
4A; 6, 6A) der Stufenplaneten gleiche Steigungshöhen
der Schraubenlinien der Zahnflanken aufweisen.

7. Planetengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, daß zwei Gruppen von Stu-
fenplaneten vorgesehen sind, wobei alle Stufenplane-
ten (4, 6; 4A, 6A; 8, 10; 8A, 10A) in dem gemeinsamen
Planetenträger (22) gelagert sind, die Anzahl der Stu-
fenplaneten der zweiten Gruppe (4, 6; 4A, 6A) der hal-
ben Anzahl der Stufenplaneten der ersten Gruppe (8,
10; 8A, 10A) entspricht, die großen Stufenräder (4, 4A)
der Stufenplaneten der zweiten Gruppe mit dem Son-
nenrad (2) in Eingriff stehen, die kleinen Stufenräder
(6, 6A) der Stufenplaneten der zweiten Gruppe gleich-
zeitig mit einem Paar von benachbarten großen Stufen-
rädern (8, 8A) der Stufenplaneten der ersten Gruppe in
Eingriff stehen und alle kleinen Stufenräder (10, 10A)
der Stufenplaneten der ersten Gruppe mit dem Hohlrad
(12) in Eingriff stehen.

8. Planetengetriebe nach Anspruch 7, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Zähnezahzahl der großen Stufenräder (8,
8A) der Stufenplaneten der ersten Gruppe nicht ganz-
zahlig durch die Zähnezahzahl der kleinen Stufenräder
(10, 10A) der Stufenplaneten der ersten Gruppe teilbar
ist, um eine radiale Einstellbarkeit der kleinen Stufen-
räder (6, 6A) der Stufenplaneten der zweiten Gruppe
allein durch verschiedene Drehstellungen bei der Mon-
tage der Stufenplaneten (8, 10; 8A, 10A) zu erzielen.

9. Planetengetriebe nach Anspruch 8, dadurch gekenn-
zeichnet, daß der größte gemeinsame Teiler der Zähne-
zahlen der großen und kleinen Stufenräder (8, 8A; 10,
10A) der Stufenplaneten der ersten Gruppe gleich eins
ist.

10. Einstell- und Montageverfahren für ein Planeten-
getriebe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch
gekennzeichnet, daß zunächst ein Stufenplanet (4A,
6A) mit dem Sonnenrad (2) in Eingriff gebracht und
montiert wird und alle am Drehmomentenfluß des Lei-
stungszweigs dieses Stufenplaneten (4A, 6A) beteilig-
ten Verzahnungen (4A, 6A, 8A, 10A, 12) in Eingriff
gebracht werden, und beim Hinzufügen eines weiteren
Stufenplaneten (4, 6) dessen Drehstellung so gewählt
wird, daß die radiale Mittenabweichung des Sonnen-
rads (2) minimal ist.

11. Einstell- und Montageverfahren nach Anspruch

- 10, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Stufenplanet (4, 6) zunächst in einer beliebigen Drehstellung montiert wird, Betrag und Richtung der Mittenabweichung des Sonnenrads (2) gemessen werden, der weitere Stufenplanet (4, 6) wieder demontiert wird, und um einen aus der Messung vorherbestimmten, einer Zähnezahl des kleinen Stufenrads (6) entsprechenden Winkel verdreht wiedermontiert wird.
12. Einstell- und Montageverfahren nach Anspruch 11 für ein Planetengetriebe gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei der ersten Montage jedes Stufenplaneten (4, 6; 4A, 6A) dessen axiale Position individuell so eingestellt wird, daß die Zahneingriffe an den kleinen konischen Stufenrädern (6, 6A) spielfrei sind.
13. Einstell- und Montageverfahren nach Anspruch 12 für ein Planetengetriebe gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Wiedermontage des weiteren Stufenplaneten (4, 6) dessen axiale Position gegenüber der zuvor ermittelten, optimal spiel freien Einstellung geringfügig verändert wird, um eine optimale Mitteneinstellung des Sonnenrads (2) herzustellen.
14. Einstell- und Montageverfahren für ein Planetengetriebe nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehstellung der Stufenplaneten der ersten Gruppe so gewählt wird, daß die Abweichung der radialen Abstände zwischen den kleinen Stufenrädern (6) der Stufenplaneten der zweiten Gruppe und der Getriebemittelachse von einem vorgegebenen Maß minimal ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

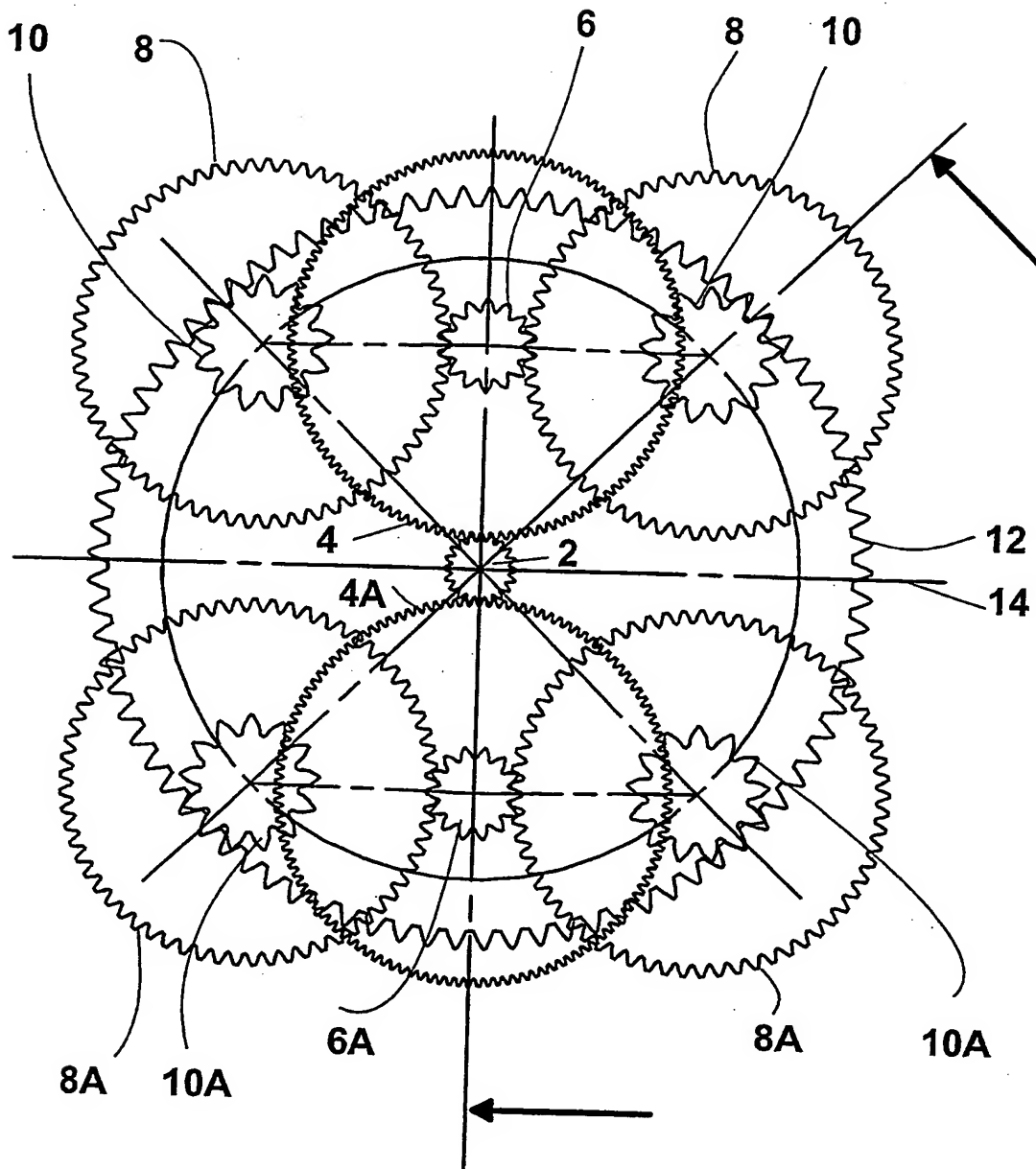


Fig. 1

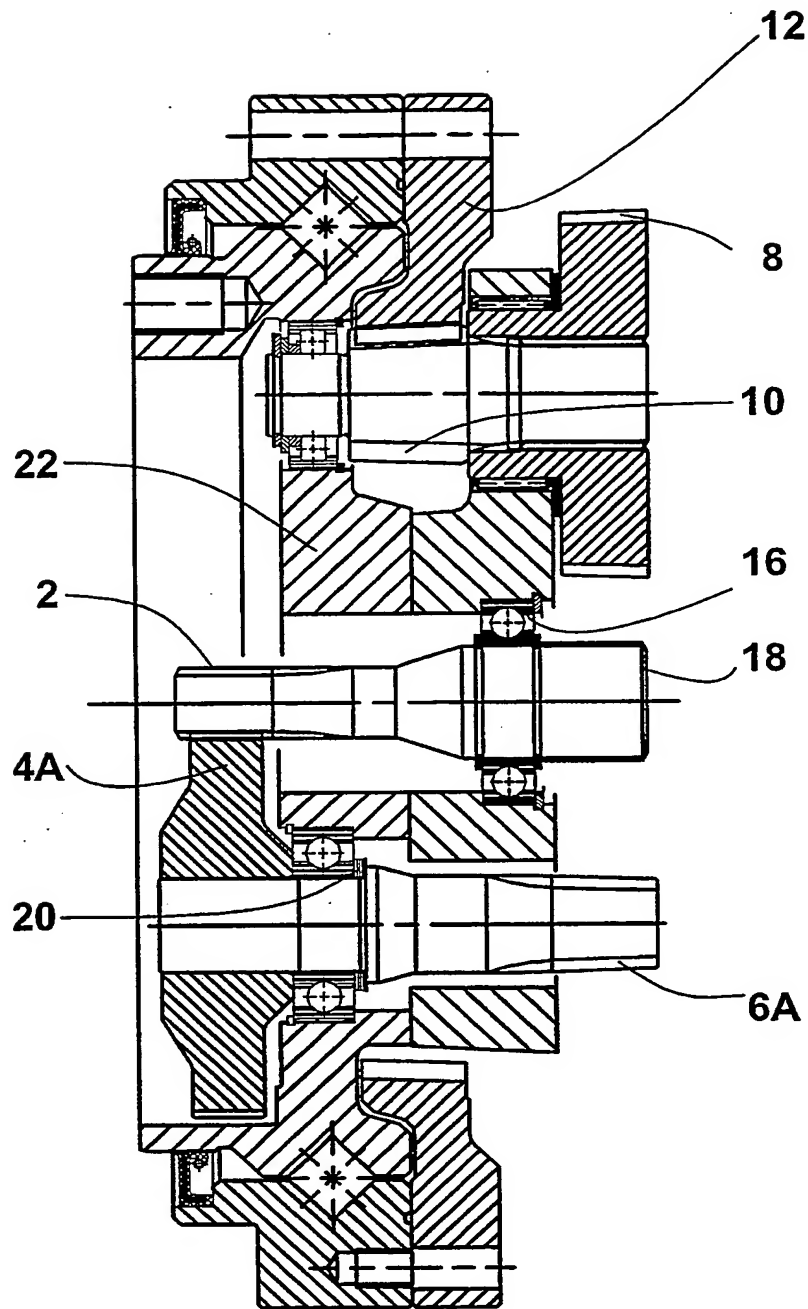


Fig. 2

dx [mm]	dN1 [-]
0 - 0,037	0
0,038 - 0,112	3
0,113 - 0,187	6
0,188 - 0,262	9
0,263 - 0,337	12
0,338 - 0,412	15
0,413 - 0,487	1
0,488 - 0,562	4
0,563 - 0,637	7

Fig. 3